

UDC 532.595 : 622.648

SCOPUS CODE 2210

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2020-1-134-142>

Классификация причин и условий возникновения нестационарных процессов и гидравлических ударов в магистральных трубопроводных гидротранспортных системах, а также способов и средств для предотвращения резких повышений давления

Леон Махарадзе

Департамент горной технологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава 75

E-mail: lmakharadze@gtu.ge

Рецензенты:

Г. Кирмелашвили, профессор факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: gkirmelashvili@gtu.ge

А. Бежанишвили, профессор горно-геологического факультета ГТУ

E-mail: bezhanishvili@gmail.com

Аннотация. В настоящее время напорные гидротранспортные системы находят широкое применение во многих отраслях промышленности из-за многих своих положительных сторон, по сравнению с традиционными видами транспорта. Однако из-за специфики работы и эксплуатации, в аналогичных системах часто возникают нестационарные процессы и гидравлические удары, отрицательно влияющие на режим их работы, так как нередко являются причинами серьезных аварий и ухудшения технико-экономических показателей аналогичных систем. Исходя из этого, борьба против таких явлений является актуальной научной и инженерной проблемой. Решению вопросов, связанных с этой проблемой, посвящены фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования, выполненные в Горном институте им. Г. А. Цулукидзе, как на полупромышленных лабораторных установках, так и на крупных промышленных гидротранспортных системах. Именно обобщению результатов этих исследований посвящаются вопросы, рассмотренные в данной работе.

Ключевые слова: гасители гидравлических ударов; гидравлические удары; грунтовые насосы; демпферы гидравлических ударов; напорные гидротранспортные системы; напорные трубопроводы; нестационарные процессы.

Введение

О роли и сферах использования трубопроводного гидротранспорта, его положительных и отрицательных сторонах, масштабах, выполненных в Горном институте им. Г. А. Цулукидзе по исследованию актуальных проблем расчета, проектирования и эксплуатации подробно изложены в ранее изданных статьях и монографиях автора данной статьи, его коллег и учеников [1-11].

В данной статье изложены вопросы классификации причин и условий возникновения нестационарных процессов и гидравлических ударов в магистральных трубопроводных гидротранспортных системах, а также способов и средств для предотвращения резких повышений давления в аналогичных системах.

Классификация сделана на основе обобщения результатов вышеуказанных исследований. Она даст возможность с учетом конкретной реальной схемы гидротранспортной системы, с большой точностью определить ожидаемые режимы при ее эксплуатации и соответственно осуществить необходимые мероприятия для их нормальной работы, без существенных отклонений от стационарных режимов. Для этой цели разработаны новые методы и устройства, новизна и полезность которых защищены авторскими свидетельствами и патентами [1-3].

Правомерность сделанной классификации обосновывается масштабами сделанных нами исследований, которые выполнены на всякого рода гидротранспортных системах. Эта сфера довольно большая, так как известно, напорные гидротранспортные системы в настоящее время, из-за многих положительных сторон по сравнению с традиционными видами транспорта, успешно функционируют на объектах систем: горнорудной, цементно-горной, строительной, энергетической, гидротехнической промышленности, а также на объектах гидромеханизации, сельского хозяйства и бытового обслуживания.

На всех указанных системах, функционирующих в Советском Союзе, в том числе Грузии, нами проведены крупномасштабные исследования и внедрены результаты этих исследований.

Как известно, от сферы и конкретных условий функционирования напорные гидротранспортные системы могут быть одноступенчатые и многоступенчатые. Это зависит от дальности подачи (транспортирования) гидросмеси. На более длинные расстояния, как правило, используются многоступенчатые системы. Это обусловлено в основном тем, что насосы, предназначенные для подачи твердых абразивных частиц, т.е. центробежные грунтовые насосы, как правило, могут быть сравнительно низконапорными. Исходя из этого, при необходимости подачи гидросмеси на дальние расстояния, следует в трубопроводную магистраль включить их последовательно. Такие схемы называются магистральными без разрыва потока в местах включения в магистраль насосов. Осуществление такой схемы обходится го-

раздо дешевле, чем при разрыве потока. Однако гораздо труднее обеспечение их нормальной работы. Об этом подробно изложено в наших публикациях [4-8]. При обеспечении нормальных режимов работы магистральные гидротранспортные системы с последовательно включенными насосами имеют гораздо лучшие технико-экономические показатели. Исходя из вышеизложенного, сделанная нами классификация для магистральных гидротранспортных систем, а также способов и средств обеспечения нормальных режимов работы, вполне справедлива для любых схем систем напорного гидротранспорта.

Как известно, нестационарные процессы и гидравлические удары в напорных трубопроводах гидравлических систем являются быстропротекающими сложными динамическими процессами. В гидротранспортных системах они являются еще более сложными, из-за того, что транспортируемая жидкая среда является трехфазной, так как одновременно с частицами твердых материалов в трубопровод всегда попадает свободный воздух, нерастворенный в капельной несущей жидкости, как правило в воде. В связи с этим, для исследования указанных процессов, нами разработана методика для их записи специальными датчиками давления и скорости. Обо всем этом также подробно изложено в наших публикациях [4-8].

Следует также отметить, что до выполнения наших вышеуказанных основных исследований, нами выполнены также глубокомасштабные исследования и анализ в данных областях ранее выполненных научных работ и технических решений [1, 2, 4, 5, 7, 8]. Это стало основой достоверности и справедливости выполненных на основе учета результатов этих исследований классификаций, сделанных нами.

Необходимо отметить также, что нами выполнены крупномасштабные исследования на объектах систем орошения сельского хозяйства и на системах питьевого водоснабжения.

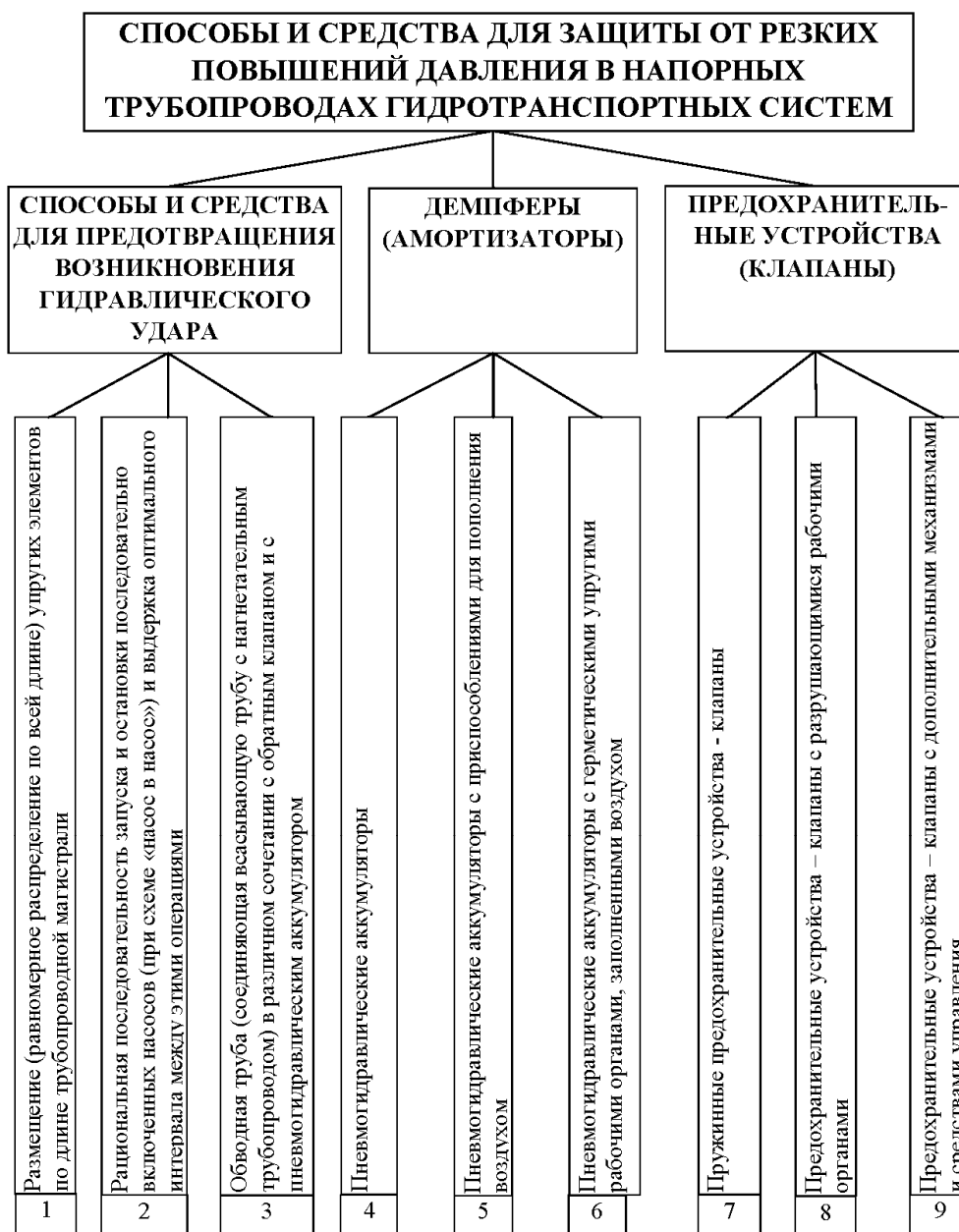
Здесь же необходимо отметить, что все мероприятия, разработанные для гидротранспортных систем, более успешно можно применить на системах для транспортирования однофазных жидкостей, без наличия в потоке жидкости твердых сыпучих частиц.

ПРИЧИНЫ И УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ В НАПОРНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

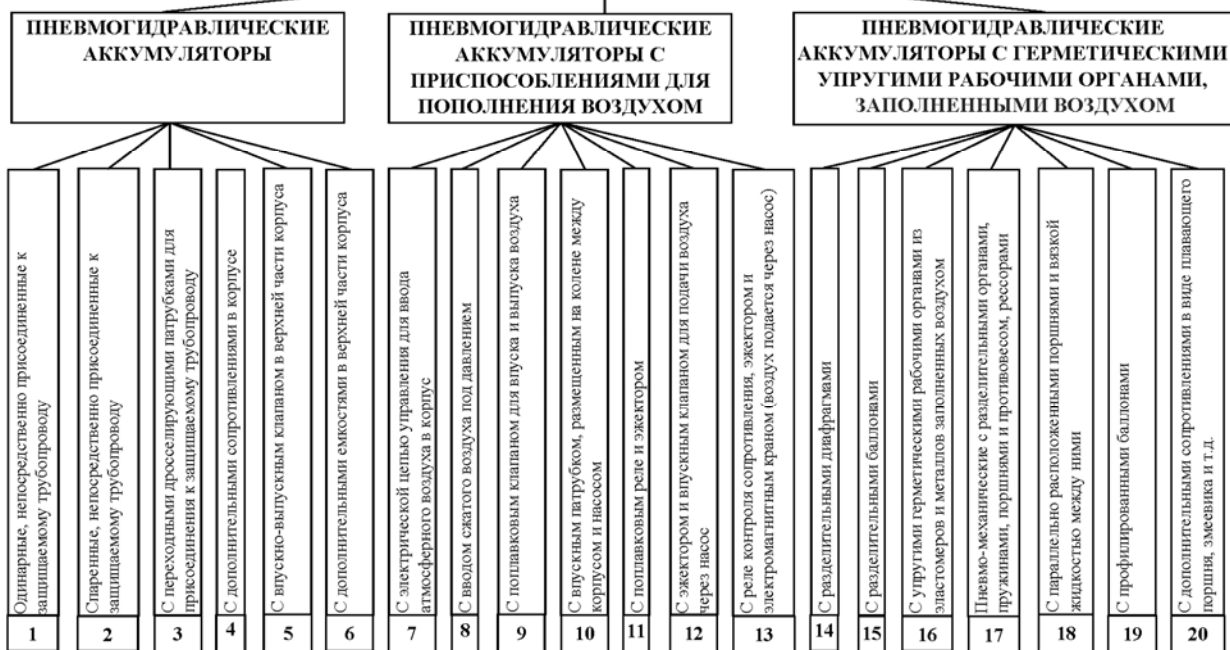
1	Перекрытие всасывающей трубы головной насосной станции негабаритными твердыми сыпучими материалами или другими посторонними, случайно попавшими, предметами в искусственно сформированном приемном зумифе (на объектах гидромеханизации)
2	За короткий промежуток времени в напорном трубопроводе при образовании пробок из твердых сыпучих материалов (полное или частичное перекрытие сечений трубопроводной магистрали)
3	Нарушение (разрыв) вакуума во всасывающей трубе головной насосной станции (по разным причинам условий работы насоса)
4	Застывание в пространных между лопатками рабочего колеса грунтового насоса негабаритными частями твердых сыпучих материалов (или других посторонних, различных предметов, случайно попавших в насос при искусственном приемном зумифе)
5	При отрицательной высоте всасывания головного грунтового насоса и при уменьшении его значения в значительной степени
6	При положительной высоте всасывания головного грунтового насоса и частном и быстром ее изменении в значительной степени
7	Нарушение рациональных последовательностей запуска и останова последовательно включенных (по схеме «насос в насос») насосов в трубопроводной магистрали
8	Засыпание большого количества (объема) нерастворенного в жидкости воздуха из приемного зумифа головного грунтового насоса при значительном уменьшении высоты подпора
9	Неравномерная подача объема гидросмеси головной насосной станции от обогатительной фабрики или от другого объекта во всасывающей части при отрицательной высоте всасывания
10	Нарушение вакуума во всасывающей трубе плавучей грунтовой насосной станции или землесосного снаряда при их завале твердым сыпучим материалом в искусственных приемных зумифах (объекты гидромеханизации)
11	Нарушение (разрыв) потока гидросмеси во всасывающей трубе головной насоса, работающего на положительной высоте всасывания, при подаче во всасывающей трубе большего, чем необходимого объема воздуха для регулирования режима работы гидротранспортной системы
12	Во время работы гидротранспортной системы непредусмотренные воздействия на основных узлах системы: на грунтовых насосах, трубопроводах, запорно-регулирующих арматурах
13	Во время эксплуатации напорной гидротранспортной системы при внезапном прекращении подачи электроэнергии головной или какой-нибудь промежуточной насосной станции (при включении насосов в трубопроводной магистрали по схеме «насос в насос»), а также при внезапной подаче электроэнергии
14	Неравномерное открытие и закрытие запорной-регулирующей трубопроводной арматуры за сравнительно значительный период эксплуатации

ПРИЧИНЫ И УСЛОВИЯ РАЗРЫВА ПОТОКА (НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ ПОТОКА) ТРАНСПОРТИРУЕМОЙ ЖИДКОЙ СРЕДЫ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ВКЛЮЧЕНИИ В МАГИСТРАЛЬ (ПО СХЕМЕ «НАСОС В НАСОС») ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ

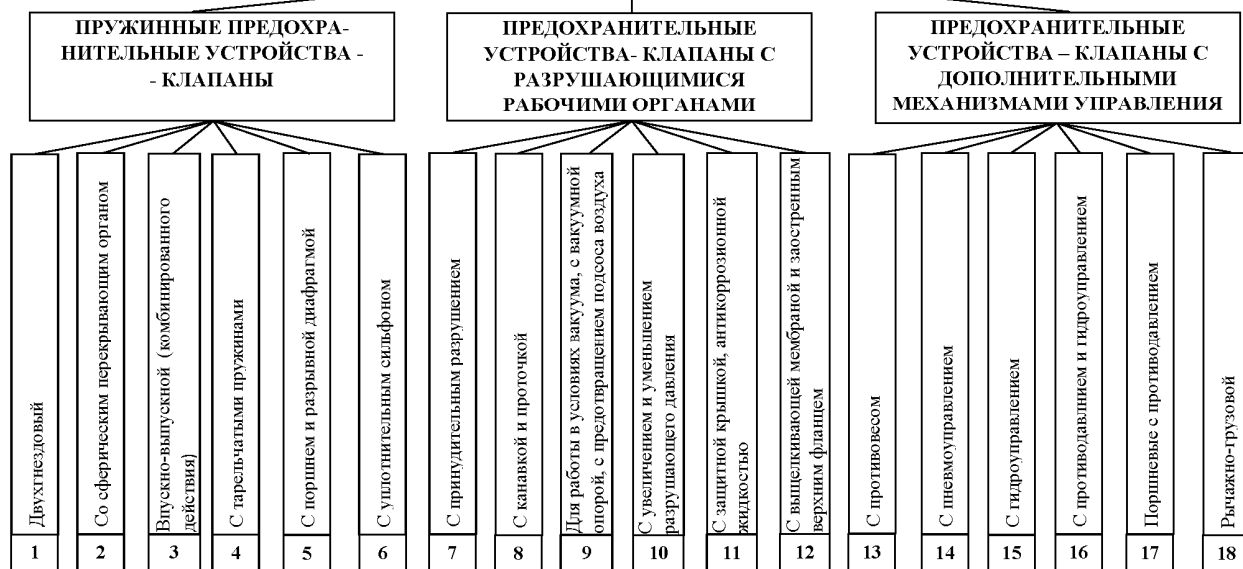
1	Нарушение вакуума во всасывающей трубе головного (всасывающего) насоса (по разным причинам в зависимости от конкретных условий работы)
2	Нарушение последовательностей запуска и останова последовательно включенных насосов (по схеме «насос в насос») в магистральном трубопроводе
3	Нарушение вакуума во всасывающей трубе плавучей землесосной насосной установки или землесосного снаряда при ее завале грунтом (объекты гидромеханизации)
4	Закрытие обратного клапана при наличии нисходящего (наклонного) участка нагнетательного трубопровода в непосредственной близости за обратным клапаном
5	Быстрое закрытие обратного клапана во время останова гидротранспортной системы при существовании условия $P_0 - P > P_0 - P_0 = \Delta P - \sigma \rho g$ (где P_0 – абсолютное статическое давление при установившемся режиме; P – полное давление при гидравлическом ударе; ΔP – превышение давления при гидравлическом ударе над давлением установившегося режима; v_0 – средняя скорость транспортирования гидросмеси в трубопроводе при установившемся режиме; σ – скорость распространения волны гидравлического удара в трубопроводе; ρ – плотность транспортируемой по трубопроводу гидросмеси) отрыва потока от запорного органа обратного клапана
6	Повторное включение головного или промежуточных насосов за короткий промежуток времени после их аварийной остановки
7	Аварийная остановка головного (всасывающего) или промежуточных насосов (при последовательном включении в магистраль насосов по схеме «насос в насос») при внезапном прекращении подачи электропитания одному или нескольким из них
8	Разрыв сплошности потока гидросмеси во всасывающей трубе головной насоса, работающего с положительной высотой всасывания, в случае неправильного определения объема атмосферного воздуха, выпускаемого туда для регулирования режима работы насоса (в случае применения впуска воздуха во всасывающем патрубке для регулирования режима работы)
9	Пробокобразование в магистральном трубопроводе за короткий промежуток времени (быстрая закупорка трубопровода и перекрытие сечения трубопровода)
10	Захват определенного количества воздуха из приемного подпорного зумифа (при работе головной насоса с отрицательной высотой всасывания) при значительном уменьшении высоты столба (уровня) гидросмеси в нем за короткий промежуток времени



ДЕМПФЕРЫ РЕЗКИХ ПОВЫШЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ



ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ (РАЗГРУЗОЧНЫЕ) УСТРОЙСТВА-КЛАПАНЫ ЗАЩИТЫ ОТ РЕЗКИХ ПОВЫШЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ



Основная часть

На рис. 1 рассмотрены причины и условия возникновения и развития нестационарных процессов и переходных режимов в напорных магистральных гидротранспортных системах, на рис. 2 – причины и условия разрыва потока (нарушения сплошности потока) транспортируемой жидкой среды в напорных трубопроводах магистральных гидротранспортных систем при индивидуальной работе и последовательном включении в магистраль (по схеме «насос в насос») центробежных грунтовых насосов.

Рассмотренные на рис. 2 причины и условия являются случайными, поэтому при эксплуатации аналогичных систем следует осуществить необходимые мероприятия для предотвращения их возникновения.

На рис. 3-5 рассмотрены способы и средства для защиты от резких повышений давления в напорных трубопроводах гидротранспортных систем.

Как было указано в введении, все причины были зафиксированы на реальных промышленных гидротранспортных системах. То же самое можно сказать по отношению способов и средств для защиты от резких повышений давления. Их эффективность и надежность установлена на аналогичных системах.

Трудно подробно рассмотреть все причины и условия, указанные по пунктам на рисунках 1 и 2, а также все способы и средства, указанные по пунктам на рисунках 3-5, в данной статье, так как этим вопросам посвящается вся наша научная и практическая деятельность. Для этой цели следует пользоваться нормативным руководством по защите напорных гидротранспортных систем от гидравлических ударов ВСН 01-81 [3], который разработан нами и основывается на результатах наших исследований.

Заклучение

1. Напорные трубопроводные гидротранспортные системы находят широкое распространение во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства, из-за многих положительных свойств по отношению к традиционным видам транспорта.
2. Относительным недостатком аналогичных систем является то обстоятельство, что из-за специфики эксплуатации часто возникают нестационарные процессы и гидравлические удары, которые являются причиной серьезных аварий и отрицательно влияют на их технико-экономические показатели, а также причиной загрязнения окружающей среды. Исходя из этого, борьба против таких явлений является актуальной научно-технической проблемой, которой в Горном институте им. Г. А. Цулукидзе за многие годы ведутся фундаментальные широкомасштабные теоретические и экспериментальные исследования на полупромышленных лабораторных установках, а также крупных промышленных системах горнорудной, цементно-горной, строительной, энергетической, гидро-технической промышленности, на объектах гидромеханизации, а также сельского хозяйства.
3. На основе результатов этих исследований проведена классификация причин и условий возникновения нестационарных процессов и гидравлических ударов в магистральных трубопроводных гидротранспортных системах, а также способов и средств для предотвращения резких колебаний давления. На основе этих же исследований разработан нормативный руководящий документ по защите напорных гидротранспортных систем от гидравлических ударов ВСН 01-81.

Литერატურა

1. Makharadze L.I. Devices for damping sudden increases in pressure pipelines. Series: Machines and mechanisms. TsNIIS. Moscow. 1977, 53 p. (in Russian).
2. Makharadze L.I. Effective remedies of protection of pressure pipelines against water hammers. Domestic and foreign experience. TsNIIS. Moscow. 1979, 67 p. (in Russian).
3. Makharadze L.I. The guide for protection of the pressure hydrotransport systems against water hammers of BCH 01-81. Tbilisi: "Metsniereba". 1981, 151 p. (in Russian).
4. Makharadze L.I., Kirmelashvili G.I. Nonstationary processes in foreign hydrotransport systems and protection from water hammers. Tbilisi: "Metsniereba". 1986, 152 p. (In Russian).
5. Dmitriev G., Makharadze L., Gochitashvili T. Pressure hydrotransport system. Manual. Moscow: "Nedra". 1991, 304 p. (in Russian).
6. Borokhovich A.I., Makharadze L.I., Kutsia M.T. Reliability of pressure hydrotransport system. University of Krasnoyarsk. Krasnoyarsk. 1992, 224 p. (in Russian).
7. Makharadze L.I. Protection of hydrotransport systems against hydraulic impact. Tbilisi: "Metsniereba". 1996, 150 p. (in Russian).
8. Makharadze L.I., Kirmelashvili G.I. Hydraulic impact in pipelines at transportation of multiphase hydromixes. Tbilisi: "Metsniereba". 1997, 232 p. (in Russian).
9. Makharadze L.I. About the strength analysis of pressure pipeline of hydrotransport systems taking into account influence of ongoing hydrodynamic processes. Works of GTU. №2(508). Tbilisi. 2018, 60-65 pp. (in Russian).
10. Makharadze L.I. Calculation methodology of economic efficiency achieved by the introduction of the research results, related to the protection from the hydraulic shocks on the large industrial pressure pipeline hydrotransport systems. Works of GTU. №4(510). Tbilisi. 2018, 97-108 pp. (in Russian).
11. Makharadze L.I. Free combined air – as an effective remedy for water hammers attenuation in the pressure head hydrotransport systems. Works of GTU. №3(513). Tbilisi. 2019, 78-85 pp. (in Russian).

UDC 532.595 : 622.648

SCOPUS CODE 2210

მაგისტრალურ მილსადენ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებში გარდამავალი პროცესებისა და ჰიდრაულიკური დარტყმების განვითარების მიზეზებისა და პირობების, აგრეთვე წნევების მკვეთრად გაზრდის საწინააღმდეგო ხერხებისა და საშუალებების კლასიფიკაცია

ლეონ მახარაძე სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: lmakharadze@gtu.ge

რეცენზენტები:

გ. ყირმელაშვილი, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: gkirmelashvili@gtu.ge

ა. ბეჟანიშვილი, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: bezhanishvili@gmail.com

ანოტაცია. სადაწნეო მილსადენი ჰიდროსატრანსპორტო სისტემები ფართოდ გამოიყენება მრეწველობის მრავალ სფეროში, რაც განპირობებულია მისი მრავალი დადებითი ფაქტორით, ტრანსპორტის სხვა ტრადიციულ სახეობებთან შედარებით. მის ერთ-ერთ უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს ის ფაქტორი, რომ, დანიშნულებისა და ექსპლუატაციის სპეციფიკურობიდან გამომდინარე, ანალოგიურ სისტემებში ხშირად აქვს ადგილი არასტაციონარული პროცესებისა და ჰიდრაულიკური დარტყმების წარმოქმნას და განვითარებას, რაც უარყოფით გავლენას ახდენს სისტემის ეფექტურობასა და, შესაბამისად, ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე, რადგან ადგილი აქვს სერიოზულ ავარიებს არასასურველი შედეგებით. ამდენად, მათ წინააღმდეგ ბრძოლა მეტად აქტუალური სამეცნიერო და საინჟინრო პრობლემაა, რომელთანაც დაკავშირებული საკითხების გადაჭრას მიემდგვნა გრ. წულუკიძის სახელობის სამთო ინსტიტუტში შესრულებული როგორც თეორიული, ისე ექსპერიმენტული ფუნდამენტური კვლევები ნახევრად სამრეწველო ლაბორატორიულ დანადგარებსა და მსხვილ სამრეწველო ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებზე. სწორედ ამ კვლევების შედეგების განზოგადებას ეფუძნება ამ ნაშრომში განხილული საკითხები.

საკვანძო სიტყვები: არასტაციონარული პროცესები; გრუნტის ტუმბოები; სადაწნეო ჰიდროსატრანსპორტო სისტემები; სადაწნეო მილსადენები; ჰიდრაულიკური დარტყმები; ჰიდრაულიკური დარტყმების ჩამქრობი; ჰიდრაულიკური დარტყმების დემპფერები.

UDC 532.595 : 622.648

SCOPUS CODE 2210

Classification of causes and conditions of development of nonstationary processes and water hammers in main pipeline hydraulic transport systems, as well as the methods and means preventing pressure surge

Leon Makharadze Department of Mining Technology, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str.
0160, Tbilisi, Georgia
E-mail: lmakharadze@gtu.ge

Reviewers:

G. Kirmelashvili, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: gkirmelashvili@gtu.ge

A. Bezhanishvili, Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU

E-mail: bezhanishvili@gmail.com

Abstract. At the moment, pressure hydrotransport systems are widely used in many sectors of industry, which is predetermined by many positive factors, compared to other traditional means of transport. However, specific nature of the exploitation and operation, similar systems often produce nonstationary processes and hydraulic shocks, which negatively affects the system efficiency and technical-economic indicators, as they often cause serious accidents and deterioration of the performance of similar systems. Therefore it represents a rather urgent scientific and engineering challenge. Appropriate theoretical and experimental fundamental studies on semi-industrial lab equipment and large industrial hydrotransport systems performed at G. A. Tsulukidze Mining Institute were dedicated to the resolution of the issues related to them. The paper reviews the issues concerning the generalization of above mentioned studies' results.

Key words: Hydraulic shocks; hydraulic shock alleviator; hydraulic shock dampers; nonstationary processes; pressure hydrotransport systems; pressure pipelines; soil pumps.

Дата рассмотрения 24.10.2019

Дата поступления 01.11.2019

Подписано к печати 26.03.2020